

# Sensoriamento tátil baseado em sensores piezorresistivos utilizando modelo de izhikevich

Vinicius Teixeira da Costa<sup>1</sup>, Stephan Costa Barros<sup>1</sup> and Alcimar Barbosa Soares<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal University of Uberlandia, BioLab, Uberlandia, Brazil

**Abstract**— O tato e a forma como sentimos o mundo em nossa volta, pela percepção do toque. No campo da robótica, replicar esse conceito ainda é um desafio. Aproximar as percepções humanas com arranjos táteis devem ter detecções rápidas ( $\leq 60$  ms). Existe uma grande variedade de sensores no mercado capazes de replicar as detecções táteis, como pressão, temperatura, vibração, rotação, entre outros. Entretanto, usar sensores para detectar toque simular ao seres humanos sentem e interagem ainda é uma barreira. Este trabalho traz uma forma de processamento de sinais em uma matriz de sensores piezorresistivos para detecções de variações de pressão, abordando um modelo bioinspirado (Izhikevich) de processamento neuromórfico como entrada, sendo possível realizar o controle de uma prótese na detecção de escorregamento.

**Keywords**— Bioinspirado, Izhikevich, neuromórfico, pressão, prótese, escorregamento.

## I. INTRODUÇÃO

Um dos sentidos mais importante do ser humano é o tato, essencial para consciência espacial, uso e confecção de ferramentas e até mesmo para uma boa comunicação social. Este sistema é formado por músculos e articulações que garantem a função motora das mãos, o sistema tátil incorpora milhares de receptores que ficam espalhados sobre a pele [1]. A interação desses receptores através de neurônios e sinapses em sistemas somatossensoriais permitem que sejam processados informações táteis com eficiência [2]. A resposta tátil de milhares mecanorreceptores na mão humana oferece uma alta resolução espaço-temporal para perceber a orientação de uma borda rapidamente (menor que 60 ms) e com precisão (acuidade próxima a 3 graus). Devido à alta resolução espaço-temporal desses mecanorreceptores presentes na pele glabra, podemos codificar e decodificar sem esforços várias correntes que podem se originar da ponta do dedo para perceber as características salientes de um objeto, como borda, curvatura, aspereza, entre outros, e essa percepção rápida e precisa de tais recursos nos ajuda a aprender e manipular um objeto em um ambiente de forma eficiente [3].

O sistema somatossensorial acopla diversos desses mecanorreceptores que enviam representações do sinal de

potencial de ação com extensos arranjos de fibras nervosas no sistema nervoso periférico. A densidade muito alta dos feixes nervosos permite que os mecanorreceptores usem vias bioelétricas dedicadas ao córtex somatossensorial [4]. Desse modo, a latência do sistema somatossensorial humano é amplamente invariável com o número de receptores no corpo e limitada apenas pela velocidade de propagação dos potenciais de ação ou *spikes* [5]. Ao responder a eventos de contato tátil, mecanorreceptores transduzem de forma assíncrona conjuntos de *spikes* que representam informações por meio de padrões espaço-temporais. Esses *spikes* são propagados em paralelo ao córtex somatossensorial com resolução de microssegundos e essas informações são interpretadas por diversas maneiras, incluindo frequência de pico, latência de pico e fase [1, 6]. Entendendo a importância das mãos para o cotidiano, se um indivíduo sofre amputação no membro superior várias consequências sensitivas, psicológicas e até mesmo sociais podem acontecer, e essa situação deve ser monitorada com cuidado [7].

Em movimentos de manipulação de objetos, os deslizamentos são capturados principalmente pelos corpúsculos de Meissner e células de Merkel. Os corpúsculos de Meissner são receptores de adaptação rápida (FA-I), sintonizados a estímulos transitórios, e fornecer informações sobre movimento na pele, vibração e textura delicada. As células de Merkel são receptores de adaptação lenta (SA-I) e retransmitem informações associadas a estímulos mais estáticos, como o alongamento da pele [8].

Diversos trabalhos já existem com foco em desenvolvimento de próteses para devolver funções básicas e aparência, mais com a evolução da tecnologia a nova conquista a ser trabalhada é devolver o sentido do tato para a pessoa. Para isso, pesquisadores trabalham com peles eletrônicas que possam devolver feedback, através de sensores eletrônicos que capturam luminosidade, vibração e pressão quando em contato com algo externo [9, 10, 11]. Esses dados vindos dos sensores podem ser processados para que a saída seja transformada em uma resposta próxima ao de receptores biológicos. Essa estratégia de transformação é interessante para que no futuro, possam ser construídos sistemas de retorno em forma de sensação tátil por meio de estimulação de nervos aferentes

preservados após a amputação [3, 5, 12].

Ainda não se encontra na literatura uma aplicação facilitada para geração de *spikes* para percepção tátil, como mostrado acima. Nesse trabalho iremos mostrar uma aplicação utilizando sensores piezorresistivos para gerar dados de um neurônio através de sinais bioinspirados.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Hardware Design e Aquisição de dados

Para esse trabalho, sensores piezorresistivos foram instalados no dedo de uma prótese para detectar a pressão do toque ou na manipulação de uma garrafa, com essa ação, enviando dados de forma analógica para o microcontrolador, que por sua vez, modula os dados para sinais próximos aos biológicos, esse sinais neuromórficos são usados como entrada para o sistema de controle de uma prótese. Essa definição é demonstrada no diagrama abaixo (Fig. 1, onde apresentada a arquitetura geral, por meio de diagrama de blocos, a solução implementada.

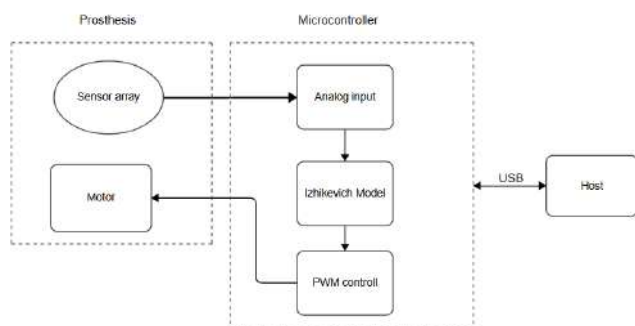


Fig. 1: Diagrama de blocos ilustra a comunicação entre a prótese que hospedar os sensores e realizará a ação de apreensão dos objetos, o microcontrolador que tem papel de realizar a leitura dos sensores, aplicar o modelo de Izhikevich e no futuro controlar uma prótese por um controle PWM, além de enviar os dados para o PC, onde será feita a análise dos dados.

Para o desenvolvimento desse projeto foi utilizado sensores piezo resistivos, compostos em matrizes 4x4, totalizando 16 unidades sensitivas, chamadas taxels, para detecção da pressão em contatos com o objeto, desenvolvido em parceria com o SINAPSE (Singapore Institute of Neurotechnology) [3]. Este sensor se baseia em vários divisores de tensão que são selecionados via chaves em multiplexadores analógicos. Os dados são transferidos via USB por um microcontrolador ARM Cortex M7 (STM32F767ZI) com a taxa de amostragem de cada taxel em 1000 Hz, que é uma taxa acima das utilizadas na literatura.

### B. Robotic Hand

Foi usada a prótese Bebionic Hand fabricada pela Ottobock, que possui até 14 tipos de pegadas, mas para nosso experimento utilizamos a pegada "power" para a manipulação dos objetos. O controle foi realizado pelo canal de EMG da prótese que, onde foi aplicado um nível alto de tensão em forma de pulso de no mínimo 25 ms para promover o fechamento da mão, que consegue fazer uma pegada completa em no máximo 1000 ms, com força máxima nesse tipo de pegada em 152 N.

A prótese foi revestida por uma luva de borracha para melhorar a aderência e elasticidade da matriz de sensores. Essa matriz de sensores piezorresistivos foi colocada na ponta do indicador da prótese como mostrado na figura 2, que possibilitou uma melhor pressão na manipulação do objeto.

Um suporte impresso em 3D também foi construído para receber a prótese e mantê-la em posição horizontal, replicando uma pegada humana e deixando a prótese estável.



Fig. 2: A) Matriz de sensores piezorresistivos no dedo indicador da prótese. B) Prótese segurando garrafa e mostrando posicionamento dos sensores no experimento.

### C. Framework

Os sinais analógicos vindos dos sensores piezoelétricos são interpretados por um conversor que filtra esses valores enviando os dados para o microcontrolador quando passado de um limiar. Esses dados são convertidos em *spikes* por meio de um modelo computacional bioinspirado. Neste trabalho foi utilizado o modelo de Izhikevich para gerar dois neurônios por taxel [13]. A dinâmica do potencial de membrana é dada pela Eq. 1, enquanto a Eq. 2 descreve a variável de recuperação que determina a dinâmica de repolarização

após o disparo de um spike:

$$\frac{dv}{dt} = 0.04v^2 + 5v - 140 + I(t) \quad (1)$$

$$\frac{du}{dt} = a(bv - u) \quad (2)$$

A Eq. 3 determina o processo de geração de um spike e a dinâmica de reinicialização do potencial de membrana após o spike:

$$if c \geq 30mV, to : \begin{cases} v \leftarrow c \\ u \leftarrow u + d \end{cases} \quad (3)$$

Onde  $v$  é o potencial de membrana do neurônio e  $u$  é a variável de recuperação. Quando  $v$  ultrapassa o limiar de despolarização da membrana (normalmente +30mV), o *spike* é gerado e  $v$  e  $u$  são reiniciadas. A corrente sináptica de entrada é dada por  $I$ . Já os parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  determinam o padrão de disparo do neurônio, sendo  $a$  sensibiliza o a produção do comportamento com disparos,  $b$  condiciona a sensibilidade da variável  $u$ ,  $c$  é o valor do potencial de repouso da membrana e  $d$  determina a dinâmica temporal de  $u$  [13].

O modelo de Izhikevich foi usado de diferentes maneiras na literatura para imitar o comportamento dos mecanorreceptores [11]. Entre os vários tipos de neurônios que o modelo de Izhikevich é capaz de reproduzir, ele é comumente usado para gerar spikes que representam as fibras SA-I, onde o modelo gera spikes de forma regular para dada uma entrada constante e apresenta um grau de adaptação, e a taxa de disparo é mais alta nos momentos iniciais do estímulo e decresce ao longo do tempo até estabilizar em uma taxa inferior.

### III. RESULTADO E DISCUSSÃO

É importante ressaltar que o modelo construção foi aplicado diretamente embarcado ao microcontrolador STM32F767ZI e foi amostrado por um software desenvolvido em Python.

As figura 3 mostra a matriz de sensores em repouso, quando não estava pressionado, já a matriz representada na figura 4 evidencia os spikes acontecendo nas regiões onde foram realizadas a pressão.

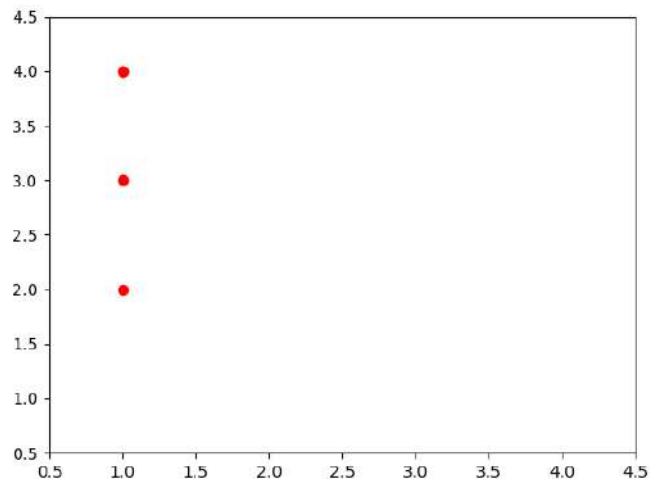


Fig. 3: Matriz de sensores piezoresistivos sem contato com nenhuma superfície, não ocorrendo ativação de sinais.

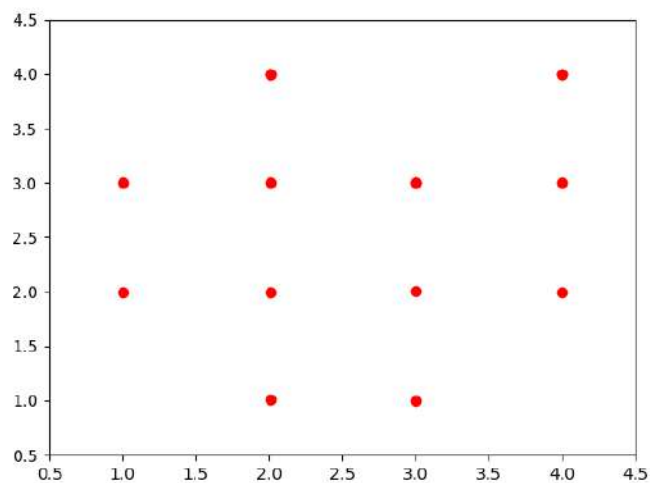


Fig. 4: Matriz de sensores em contato com a superfície, assim, detectando em diferentes pontos a ativação dos neurônios SA-I.

Queremos mostrar assim as vantagens de utilizar esse sensor para registrar tato em próteses, como a boa sensibilidade, além de fornecem informações quanto a força aplicada e sua localização. Também é possível ver as desvantagens que são a sensibilidade a ruídos externos como vibrações mecânicas e não informar a magnitude da força.

### IV. CONCLUSÃO

Esse trabalho mostra uma forma eficaz e bioinspirada na detecção de escorregamento de objetos e controle de

uma prótese por sinais neuromórficos utilizando sensores piezoresistivos, evidenciando a construção simplificada de uma aquisição de sinais de pressão e convertendo em sinais neuromórficos. No futuro se pretende criar controles através desses sinais, sendo possível detectar texturas e escorregamento de objetos em próteses.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro concedido ao Laboratório de Engenharia Biomédica (BioLab) da Universidade Federal de Uberlândia.

## REFERENCES

1. Lee Wang Wei, Tan Yu Jun, Yao Haicheng, et al. A neuro-inspired artificial peripheral nervous system for scalable electronic skins *Science Robotics*. 2019;4.
2. Tan Hongwei, Tao Quanzheng, Pande Ishan, et al. Tactile sensory coding and learning with bio-inspired optoelectronic spiking afferent nerves *Nature Communications*. 2020;11:1–9.
3. Kumar Deepesh, Ghosh Rohan, Nakagawa-silva Andrei, Soares Alciimar B, Thakor Nitish V. Neurocomputing Neuromorphic approach to tactile edge orientation estimation using spatiotemporal similarity *Neurocomputing*. 2020;407:246–258.
4. Abaira Victoria E, Ginty David D. Review The Sensory Neurons of Touch *Neuron*. 2013;79:618–639.
5. Johansson Roland S., Flanagan J. Randall. Coding and use of tactile signals from the fingertips in object manipulation tasks *Nature Reviews Neuroscience*. 2009;10:345–359.
6. Johansson Roland S, Birznieks Ingvars. First spikes in ensembles of human tactile afferents code complex spatial fingertip events 2004;7:170–177.
7. Demet Katharina, Martinet Noël, Guillemin Francis, Paysant Jean, André Jean Marie. Health related quality of life and related factors in 539 persons with amputation of upper and lower limb *Disability and Rehabilitation*. 2003;25:480–486.
8. Johansson R S, Westling G. Programmed and triggered actions to rapid load changes during precision grip *Programmed and triggered actions to rapid load changes during precision grip*. 1988:72–86.
9. Clemente Francesco, Dosen Strahinja, Lonini Luca, Markovic Marko, Farina Dario, Cipriani Christian. Humans Can Integrate Augmented Reality Feedback in Their Sensorimotor Control of a Robotic Hand *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2017;47:583–589.
10. Dosen Strahinja, Markovic Marko, Strbac Matija, et al. Multichannel electrotactile feedback with spatial and mixed coding for closed-loop control of grasping force in hand prostheses *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2017;25:183–195.
11. Nakagawa-silva Andrei, Thakor Nitish V, Fellow Life, Cabibihan Johnjohn, Member Senior, Soares Alciimar B. A Bio-Inspired Slip Detection and Reflex-Like Suppression Method for Robotic Manipulators 2019;19:12443–12453.
12. Saal Hannes P., Bensmaia Sliman J.. Biomimetic approaches to bionic touch through a peripheral nerve interface *Neuropsychologia*. 2015;79:344–353.
13. Izhikevich Eugene M. Simple Model of Spiking Neurons 2003;14:1569–1572.

Enter the information of the corresponding author:

Author: Vinicius Teixeira da Costa  
Institute: Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Street: Av. João Naves, 2020, B. Santa Mônica  
City: Uberlândia  
Country: Brasil  
Email: viniciustxc3@gmail.com